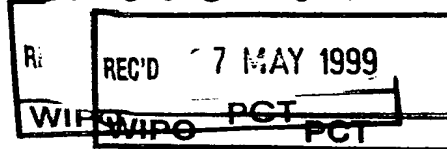




EU



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **10 MAI 1999**

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS Cédex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : (1) 42.94.52.52 Télécopie : (1) 42.93.59.30

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES

10 AVR. 1998  
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT

DATE DE DÉPÔT 10 AVR. 1998

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande de brevet européen



demande initiale

☐ brevet d'invention

☐ certificat d'utilité n°

date

Établissement du rapport de recherche

☐ différé

☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☒ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

Procede de synchronisation fine sur un signal reçu d'un canal de transmission

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN 3.8.9.5.1.6.7.4.1 code APE-NAF 3.2.2.P

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

NORTEL MATRA CELLULAR

Forme juridique

Société en comman-  
dite par actions  
dite

Nationalité (s)

Française

Adresse (s) complète (s)

Pays

1, place des Frères Montgolfier  
78 042 Guyancourt Cedex

FRANCE

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre ☐

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire - n° d'inscription)

T. RENAUD - GOUJ  
C.P.I n° 96-1207

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRES ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

98 04 782

## DESIGNATION DE L'INVENTEUR

N° d'enregistrement national :

Titre de l'invention :

PROCEDE DE SYNCHRONISATION FINE SUR UN SIGNAL REÇU  
D'UN CANAL DE TRANSMISSION

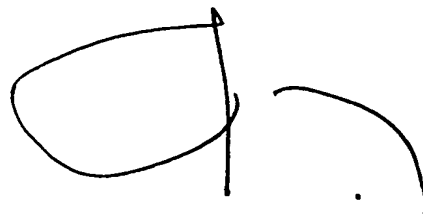
Le soussigné **RENAUD-GOUD Conseil**

désigne en tant qu'inventeur (s) :

- **DORNSTETTER Jean-Louis**  
25, place Suzanne Lenglen  
78370 PLAISIR
- **BEN RACHED Nidham**  
32, rue Baron  
75017 PARIS

Date et signature du mandataire :

le 10 avril 1998



**T.RENAUD-GOUD**  
(C.P.I. n° 96-1207)

Procédé de synchronisation fine sur un signal reçu  
d'un canal de transmission

La présente invention concerne un procédé de synchronisation fine sur un signal de réception  
5 correspondant à un signal de référence émis dans un canal de transmission.

Dans un système de transmission, notamment par ondes radios, un émetteur émet un signal de référence dans un canal de transmission à destination d'un récepteur. Une des  
10 premières opérations que doit réaliser le récepteur est la synchronisation sur le signal de réception. Ce problème est bien connu de l'homme du métier et il n'est donc pas nécessaire de rappeler ici les différentes techniques qui sont employées pour obtenir cette synchronisation.

15 Lorsque les signaux sont numériques, on a coutume d'évaluer l'écart de synchronisation au moyen d'une unité de temps, le temps bit, qui est l'écart temporel séparant deux bits successifs d'un signal. Or, il apparaît que les solutions disponibles dans l'état de l'art ne permettent pas  
20 d'acquérir une synchronisation beaucoup plus précise que le temps bit.

Cette précision peut s'avérer insuffisante dans certains cas. En effet, c'est la synchronisation qui donne le temps de trajet du signal dans le canal de transmission  
25 ou, autrement dit, le temps de transmission entre l'émetteur et le récepteur. Cette donnée est importante car, dans un système de radiocommunication duplex où une station de base est en communication avec un terminal, chaque équipement étant pourvu d'un émetteur-récepteur, le terminal doit  
30 fonctionner de sorte que le signal qu'il émet arrive à un instant précis en référence à la base de temps de la station de base. Pour ce faire, il faut naturellement que le terminal connaisse le temps que met ce signal pour parvenir à la station de base.

35 D'autre part, ce temps de transmission reflète directement la distance séparant l'émetteur du récepteur. On

comprend bien que la précision de cette distance est fondamentale lorsqu'il s'agit de procéder à la localisation du terminal en repérant sa position relative par rapport à une ou plusieurs stations de base. Le problème général de la  
 5 localisation d'un terminal est une préoccupation très actuelle du fait de ses applications au nombre desquelles on citera, par exemple, les stratégies de changements de cellules ("handover") dans les réseaux cellulaires. On mentionnera également le domaine de la sécurité, qu'il  
 10 faille situer géographiquement la provenance d'un appel d'urgence ou bien la position d'un véhicule volé équipé du terminal.

La présente invention a ainsi pour objet un procédé de synchronisation dont la précision est bien supérieure au  
 15 temps bit.

Selon l'invention, le procédé de synchronisation fine sur un signal de réception correspondant à un signal de référence émis dans un canal de transmission comprend les étapes suivantes :

- 20       - sélection d'un signal source produisant un signal de caractérisation suite à son passage dans le canal de transmission,
- établissement d'une matrice de caractérisation pour estimer la covariance du signal de caractérisation,
- 25       - identification des valeurs propres dominantes qui sont les valeurs propres les plus élevées de cette matrice de caractérisation,
- calcul de la fonction de corrélation du signal source avec la somme des vecteurs propres associés aux  
 30 valeurs propres dominantes,
- recherche du premier maximum de cette fonction de corrélation.

Lorsque l'incrément de temps adopté pour le calcul de la fonction d' corrélation est choisi suffisamment petit, en  
 35 tout cas bien inférieur à un temps bit, le procédé permet d'obtenir une très bonne précision.

Selon une première option, le nombre de ces valeurs propres dominantes est prédéterminé. Typiquement, ce nombre représente de l'ordre de 20 à 30 % de la dimension de la matrice de caractérisation.

5        Selon une deuxième option, le rapport de la somme des valeurs propres dominantes à la somme de toutes les valeurs propres est supérieur ou égal à un nombre prédéterminé. Ici, le nombre retenu sera souvent supérieur à 90 %, 95 % par exemple.

10       Selon une troisième option, le procédé comprenant d plus une étape d'estimation du bruit additif dans le canal de transmission, les valeurs propres dominantes sont telles que leur somme soit inférieure ou égale à la somme de toutes les valeurs propres diminuée du bruit additif.

15       De plus, l'estimation du bruit additif est réalisée en normalisant le bruit instantané qui est évalué au moyen du signal de réception, du signal de référence et d'une estimation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission.

20       Avantagusement, en notant  $A$  la matrice de transmission associée au signal de référence, l'expression du bruit instantané est la suivante :  $N_0 = S - A.X$ .

Par ailleurs, quelle que soit l'option éventuellement retenue, la matrice de caractérisation résulte d'un  
25 opération de lissage.

Selon un mode de réalisation préférentiel, le signal de caractérisation est une estimation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission.

On peut également prévoir que le signal de  
30 caractérisation soit le signal de réception.

La présente invention apparaîtra maintenant de manière plus détaillée dans le cadre de la description qui suit où sont proposés des exemples de mise en oeuvre à titre illustratif, ceci en référence aux figures annexées qui  
35 représentent :

- la figure 1, une première variante de réalisation de l'invention, et
- la figure 2, une deuxième variante.

Les éléments communs aux deux figures sont affectés d'une seule et même référence.

Le récepteur a déjà acquis une synchronisation grossière sur le signal de réception, de l'ordre du temps bit, au moyen de l'une quelconque des solutions disponibles.

Ce signal de réception correspond à un signal de référence produit par l'émetteur et connu du récepteur. Ce signal de référence peut être connu à priori, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une séquence d'apprentissage formée de symboles identifiés. Il peut également être connu a posteriori au moyen de techniques génériquement référencées sous le terme de sondage aveugle. Dans ce cas, au cours de la procédure de synchronisation, le récepteur régénère la suite des symboles formant le signal de référence à partir du signal de réception.

Il convient en premier lieu de caractériser la transmission entre l'émetteur et le récepteur. A cet effet, on sélectionne un signal source qui, produit par l'émetteur, donne au niveau du récepteur, après transmission dans le canal, un signal de caractérisation.

Naturellement, si le signal source est le signal de référence, ce signal de caractérisation est le signal de réception lui-même. Ce n'est pas cependant pas toujours la solution optimale quant à la complexité et aux performances du procédé de l'invention.

Une autre solution consiste à retenir une impulsion modulée comme signal source, le signal de caractérisation devenant alors la réponse impulsionnelle du canal de transmission.

A titre d'exemple, le système de radiocommunication cellulaire numérique GSM fait appel à une séquence d'apprentissage de 26 symboles, la réponse impulsionnelle



étant généralement estimée avec 5 coefficients puisqu'on admet que la dispersion du canal vaut 4.

Dans ce cas, le signal de réception a une dimension maximale de 22 qui est sensiblement plus importante que  
5 celle de la réponse impulsionnelle.

On examinera donc successivement deux variantes de mise en oeuvre de l'invention en commençant par le cas où le signal source est une impulsion modulée en référence à la figure 1.

10 L'estimation de la réponse impulsionnelle ne pose pas de difficultés en soi car de nombreuses méthodes permettent d'y parvenir, par exemple la méthode dite du critère des moindres carrés qui est décrite notamment dans les demandes de brevet FR 2696604 et EP 0564849. En matière de rappel,  
15 cette technique fait appel à une matrice de mesure A construite à partir de la séquence d'apprentissage TS de longueur n. Cette matrice comprend (n-d) lignes et (d+1) colonnes, d représentant la dispersion du canal. L'élément figurant à la ième ligne et à la jème colonne est le (d+i-  
20 j)ième symbole de la séquence d'apprentissage, soit en notant  $a_i$  le ième symbole d'une séquence TS de 26 symboles :

$$A = \begin{pmatrix} a_4 & a_3 & a_2 & a_1 & a_0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 \\ a_6 & a_5 & a_4 & a_3 & a_2 \\ a_7 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{25} & \dots & \dots & \dots & a_{21} \end{pmatrix}$$

La séquence d'apprentissage est choisie telle que la  
25 matrice  $A^t A$  soit inversible où l'opérateur  $.^t$  représente la transposition.

Dans le signal de réception S, on ne prend pas n  
compt les quatre premiers symboles  $s_0$  à  $s_3$  car ceux-ci  
dépendent également de symboles inconnus émis avant la  
30 séquence d'apprentissage, étant donné que la dispersion du

canal vaut 4. Par un abus de langage on définira donc dorénavant le signal de réception comme un vecteur  $S$  ayant pour composantes les symboles reçus,  $s_4, s_5, s_6, \dots, s_{25}$ .

Dès lors, l'estimation de la réponse impulsionnelle  $X$  prend la forme suivante :

$$X = (A^t A)^{-1} A^t \cdot S$$

L'étape suivante du procédé de l'invention consiste à établir une statistique de cette réponse impulsionnelle. Par statistique, on entend un ensemble de données reflétant la valeur moyenne de cette réponse sur une période d'analyse.

On construit donc une matrice de lissage des différentes estimations  $X$  obtenues pendant la période d'analyse pour obtenir une estimation de la covariance associée à cette réponse impulsionnelle. On entend ici lissage dans un sens très général, c'est-à-dire toute opération permettant de lisser ou de moyenner la réponse impulsionnelle sur la période d'analyse.

Un premier exemple de lissage consiste à effectuer la moyenne de la matrice  $XX^h$  sur la période d'analyse supposée comprendre  $m$  séquences d'apprentissage :

$$L(XX^h) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m XX^h$$

L'opérateur  $.h$  représente la transformation hermitienne ou transposition conjugaison complexe.

Un second exemple de lissage consiste à actualiser, après réception de la  $i$ ème séquence d'apprentissage, la matrice de lissage  $L_{i-1}(XX^h)$  obtenue à la  $(i-1)$ ème séquence d'apprentissage au moyen d'un coefficient multiplicatif  $\alpha$ , ce facteur étant généralement connu sous le nom de facteur d'oubli de lissage et étant compris entre 0 et 1 :

$$L_i(XX^h) = \alpha X_i X_i^h + (1-\alpha) L_{i-1}(XX^h)$$

L'initialisation peut se faire par tous moyens, notamment au moyen de la première estimation  $X$  obtenue ou bien par une moyenne obtenue comme ci-dessus pour un faible nombre de séquences d'apprentissage.

Dans un souci de simplification, la matrice de lissage  $L(xx^h)$  qui est en fait une matrice de caractérisation statistique, sera désormais notée  $L$ .

Le procédé comprend ensuite une étape de recherche des couples (valeur propre, vecteur propre) de la matrice de caractérisation.

Cette étape ne sera pas plus détaillée car bien connue de l'homme de métier.

Les valeurs propres  $\lambda_i$  sont maintenant classées, par ordre décroissant. En effet, la somme de ces valeurs correspond à l'énergie du signal de caractérisation  $X$  composée pour partie d'un signal utile qui est l'image du signal source et pour partie du bruit additif  $N$  du canal de transmission.

Il vient que les valeurs propres dominantes, celles qui sont le plus élevées, représentent le signal utile, tandis que les valeurs propres les plus faibles représentent le bruit.

Selon une première option, le procédé consiste à retenir un nombre prédéterminé de valeurs propres dominantes. Par exemple, pour une réponse impulsionnelle à 5 coefficients, on retient les deux premières valeurs propres  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ .

Selon une deuxième option, on considère que le signal utile présente une énergie qui est une fraction prédéterminée  $f$  de l'énergie du signal de caractérisation. Ainsi en notant  $\lambda_i$  les valeurs propres pour  $i$  variant de 1 à  $p$ , il y aura  $d$  valeurs propres dominantes,  $d$  étant obtenu comme suit :

30

$$\frac{\sum_{i=1}^d \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \leq f \quad \text{et} \quad \frac{\sum_{i=1}^{d+1} \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} > f$$

La fraction  $f$  peut être fixée a priori, à une valeur de 95 % par exemple. Cette fraction peut également dériver

du rapport signal à bruit du signal de réception obtenu par ailleurs.

Selon une troisième option du procédé, sans doute la plus performante, le bruit additif  $N$  est estimé directement à partir du signal de réception et de la matrice de mesure  $A$ . En effet, en notant  $N_0$  le vecteur bruit affectant le signal de réception, il vient que :

$$S = AX + N_0$$

Compte tenu du fait que les vecteurs  $S$  et  $N_0$  ont 22 composantes, le bruit additif  $N$  peut s'exprimer de la manière suivante :

$$N = \left(\frac{1}{22}\right) (S - AX)^h (S - AX)$$

Naturellement, cette estimation du bruit additif peut être moyennée en lissée.

En reprenant les notations précédentes et en normalisant les énergies, il vient que :

$$\sum_{i=d}^p \lambda_i \geq N \quad \text{et} \quad \sum_{i=d+1}^p \lambda_i < N$$

On obtient donc les valeurs propres dominantes à partir d'une estimation directe du bruit.

Quelle que soit l'option précédemment retenue, l'étape suivante du procédé consiste à calculer la fonction de corrélation du signal source avec la somme des vecteurs propres  $v_i$  associés aux valeurs propres dominantes  $\lambda_i$ .

Le signal source est suréchantillonné par rapport au temps bit et on le notera donc  $g(t)$  où  $t$  qui représente le temps est une variable discrète dont le pas de quantification vaut, à titre d'exemple,  $1/32$  temps bit. Il est représenté par un vecteur de même dimension que le signal de caractérisation, soit 5 dans l'exemple adopté. La fonction de corrélation  $c(t)$  est calculée par exemple pour  $t$  variant de  $-1$  à  $+1$  temps bit au moyen de l'expression suivante :

$$c(t) = \sum_{i=1}^d g(t) \cdot v_i$$

Le point figurant entre le signal source  $g(t)$  et le vecteur propre  $v_i$  représente classiquement le produit scalaire.

5 La dernière étape du procédé consiste à rechercher la valeur  $t_0$  de  $t$  la plus proche de zéro qui correspond au premier maximum relatif de la fonction corrélation  $c(t)$ . C'est cette valeur particulière  $t_0$  qui donne l'écart d synchronisation recherchée par rapport au signal de  
10 réception.

Par ailleurs, on peut considérer la fonction complémentaire  $c'(t)$  suivante :

$$c'(t) = \sum_{i=d+1}^p g(t) \cdot v_i$$

Il faut remarquer que la valeur particulière  $t_0$   
15 mentionnée ci-dessus peut également être obtenue en recherchant la valeur de  $t$  la plus proche de zéro qui correspond au premier minimum relatif de la fonction complémentaire  $c'(t)$ .

Ces deux méthodes pour obtenir l'écart d  
20 synchronisation  $t_0$  sont donc équivalentes.

En référence à la figure 2, considérons maintenant un deuxième variante de l'invention selon laquelle le signal de caractérisation est le signal de réception  $S$ , si bien que le signal source est maintenant le signal de référence, soit  
25 dans le cas du GSM, la séquence d'apprentissage TS modulé GMSK (pour "Gaussian Minimum Shift Keying").

La statistique du signal de caractérisation est donc estimée au moyen d'une matrice de caractérisation qui est maintenant obtenue par lissage des différentes occurrences  
30 du signal de réception  $S$ . Ici encore, on considère le terme lissage dans un sens très général.

La matrice de caractérisation  $L$  prend donc la forme suivante :

$$L(SS^h) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m SS^h \quad \text{ou bien,}$$

$$L_i(SS^h) = \alpha S_i S_i^h + (1-\alpha)L_{i-1}(SS^h)$$

On recherche ensuite les  $p'$  valeurs propres  $\lambda'_i$  de cette matrice et, comme dans la première variante, on  
5 identifie les  $d'$  valeurs propres dominantes.

On calcule maintenant la fonction de corrélation  $f(t)$  de la séquence d'apprentissage modulée et de la somme des vecteurs propres  $v'_i$  associés aux valeurs propres dominantes  $\lambda'_i$ .

10 Là encore, la séquence d'apprentissage  $g'(t)$  est suréchantillonnée et elle est représentée par un vecteur de 22 composantes. La fonction de corrélation devient donc :

$$f(t) = \sum_{i=1}^{d'} g'(t) \cdot v'_i$$

15 Comme auparavant, on peut définir une nouvelle fonction complémentaire  $f'(t)$  :

$$f'(t) = \sum_{i=d'+1}^{p'} g'(t) \cdot v'_i$$

Le procédé se termine de la même manière en  
20 recherchant le premier maximum de la fonction de corrélation  $f(t)$  ou le premier minimum de la fonction complémentaire  $f'(t)$ .

L'invention peut ainsi être mise en oeuvre de différentes manières, le point essentiel étant de disposer  
25 d'un signal source et du résultat de sa transmission, à savoir du signal de caractérisation.

### REVENDECATIONS

- 1) Procédé de synchronisation fine sur un signal de réception (S) correspondant à un signal de référence (TS) émis dans un canal de transmission, caractérisé en ce qu'il comprend les
  - 5 étapes suivantes :
    - sélection d'un signal source produisant un signal de caractérisation (X, S) suite à son passage dans ledit canal de transmission,
    - établissement d'une matrice de caractérisation (L) pour
      - 10 estimer la covariance dudit signal de caractérisation (X, S),
      - identification des valeurs propres dominantes qui sont les valeurs propres ( $\lambda_i$ ,  $\lambda'_i$ ) les plus élevées de cette matrice de caractérisation (L),
      - 15 - calcul de la fonction de corrélation ( $c(t)$ ,  $f(t)$ ) dudit signal source avec la somme des vecteurs propres ( $v_i$ ,  $v'_i$ ) associés auxdites valeurs propres dominantes,
      - recherche du premier maximum de cette fonction de corrélation ( $c(t)$ ,  $f(t)$ ).
- 20 2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l nombre (d, d') desdites valeurs propres dominantes ( $\lambda_i$ ,  $\lambda'_i$ ) est prédéterminé.
- 3) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le rapport de la somme desdites valeurs propres dominantes à la
  - 25 somme de toutes les valeurs propres est supérieur ou égal à un nombre prédéterminé.
- 4) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que, comprenant de plus une étape d'estimation du bruit additif (N) dans le canal de transmission, lesdites valeurs propres
  - 30 dominantes sont telles que leur somme soit inférieure ou égale à la somme de toutes les valeurs propres diminuée dudit bruit additif (N).
- 5) Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'estimation du bruit additif (N) est réalisée en
  - 35 normalisant le bruit instantané ( $N_0$ ) qui est évalué au moyen dudit signal de réception (S), dudit signal de référence

(TS) et d'une estimation de la réponse impulsionnelle (X) du canal de transmission.

6) Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que, en notant A la matrice de transmission associée audit signal de référence (TS), l'expression du bruit instantané ( $N_0$ ) est la suivante :  $N_0 = S - A.X$ .

7) Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit bruit additif (N) est de plus moyenné.

8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite matrice de caractérisation (L) résulte d'une opération de lissage.

9) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit signal de caractérisation est une estimation de la réponse impulsionnelle (X) du canal de transmission.

10) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit signal de caractérisation est ledit signal de réception (S).



1/2

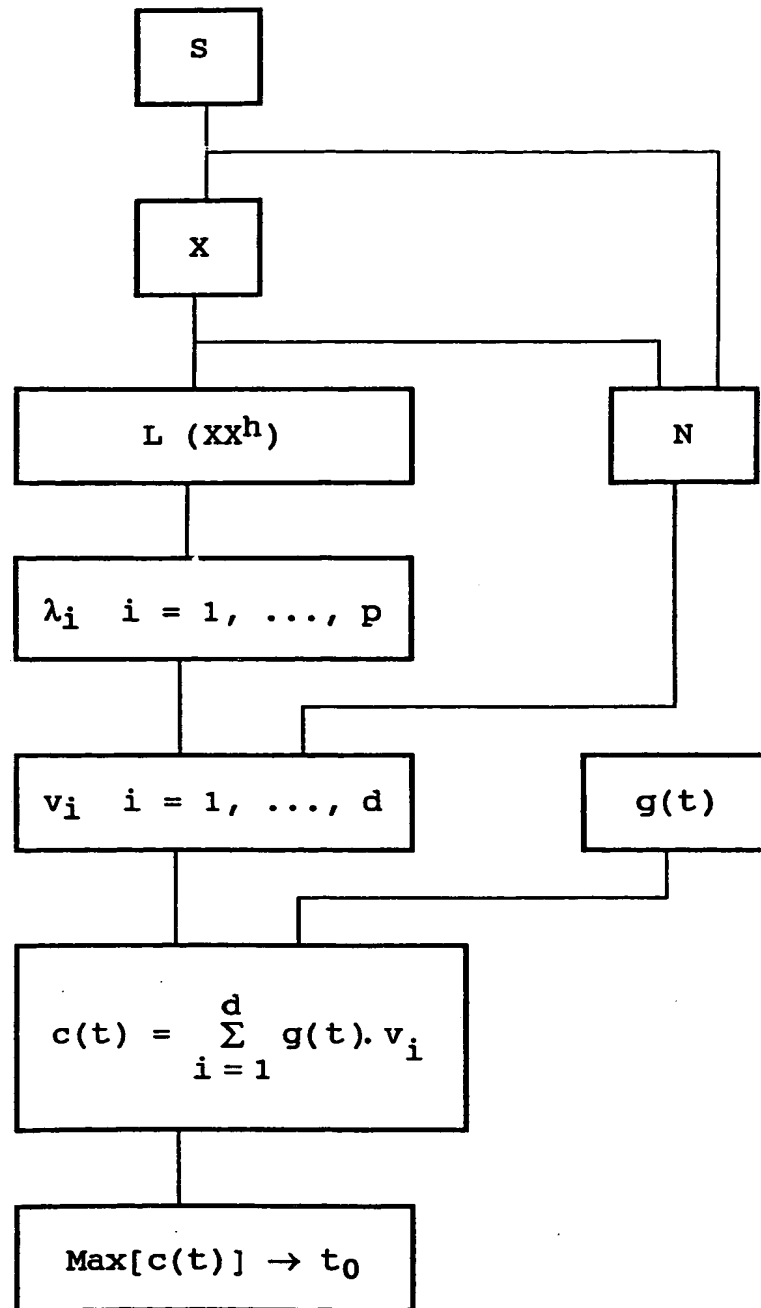


FIG. 1

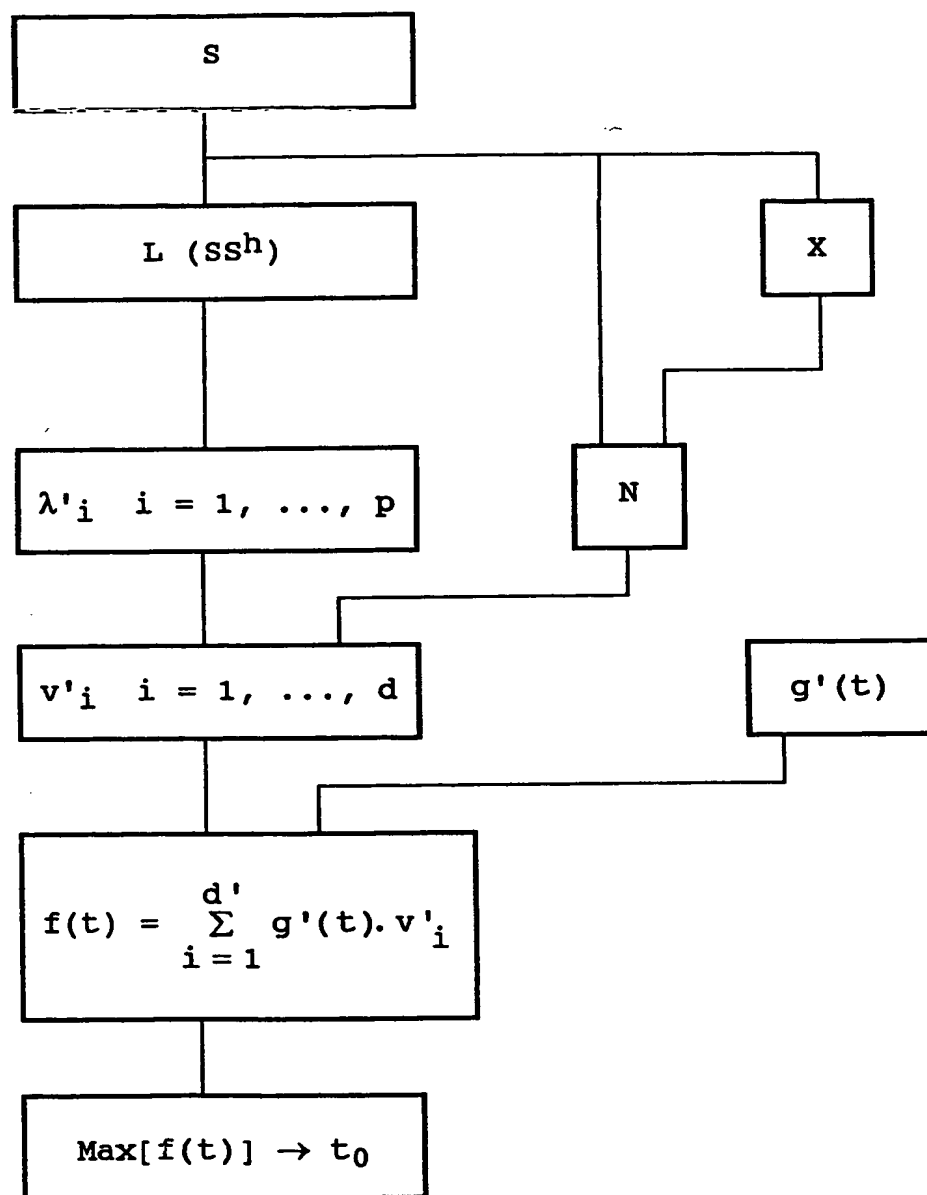


Fig. 2